

# 金沢における日射量について

安達 正雄・割沢 善次郎

## The Solar Radiations at Kanazawa

by

Masao ADACHI and Zenjiro WARISAWA

At first, the equations of solar radiations are presented. The important equations are Eq. (7) or (8) to gain Direct Solar Radiation on the Vertical Surface  $I_d$ , and Eq. (10) to gain Direct Solar Radiation on the Horizontal Surface  $I_i$ .

Using the upper equations, the values of calculated solar radiations at Kanazawa are shown in Table 3 (a) ~ (f), listed  $I_d$  or  $I_i$  vs. time on the three days selected in each month. Their typical curves are shown in Fig. 5 ~ Fig. 12, particularly in Fig. 8 ~ Fig. 11, comparing with Total Solar Radiation on the Horizontal Surface  $I_{ti}$  at Kanazawa measured by the authors using an Eppley thermoelectric pyrheliometer.

Finally, the daily integrated values of  $I_d$ ,  $I_i$  or  $I_{ti}$  vs. time are shown in Table 4(a)~(c).

### 1. ま え が き

最近各国はきそって太陽エネルギー利用の研究に乗りだしてきた。しかし、太陽エネルギーを利用しようとする場合、最も重要なことはその土地における日射量を知ることである。日本における日射量については東京その他数都市の実測値<sup>7)9)</sup>しかなく、金沢における実測値はない。日射量の計算方法には太陽定数をもとに Bouguer の式を用いる方法<sup>4)</sup>と可照時間と日照時間の比から算出する Page の方法<sup>6)</sup>が知られている。

そこで著者らは Eppley 日射計を使用して金沢における水平面全天日射量を測定した。また、Bouguer の式を用いる方法に修正を加えた計算方法により金沢における法線面直達日射量と水平面直達日射量とを算出した。なお1日の積算量も必要なので、各日射量の日積算量をも求めた。それらの結果をまとめてここに報告する。

### 2. 理 論 的 考 察

大気圏外に到達した日射は以後大気によって急激に減少しながら地表に達する。その過程は(1)大気自体に吸収されるもの、(2)大気に散乱するもの、(3)大気を透過して地表にとどくもの、の3者に区分される。この(3)が直達日射量で、これはまた受ける面によって法線面、水平面、傾斜面等の直達日射量に分けられる。

#### 2.1 法線面直達日射量 $I_d$

日射が大気中を通過して減少する量はその距離の長い程、すなわち太陽高度の低い程多く、また大気圧や大気の混濁の度合で異なる。押田<sup>4)</sup>は前述のことに基づく Bouguer の式を用いて次式を導い

ている。太陽定数\*を  $J_0$ 、大気の透過率\*\*を  $P$  とすると、法線面直達日射量  $I_d$  は

$$I_d = J_0 P^m \quad (1)$$

ここで、 $m$  は air mass (大気路程) と定義されている。これは太陽が天頂 ( $h=90^\circ$ ) にあるとき、日射が通過する大気の層の厚さを 1 とし、これに対する比で表わされる。

上式は太陽定数  $J_0$  をもとにしているが、太陽定数  $J_0$  というのは地球・太陽間の平均距離における日射量であるから、上式は不正確である。なぜならば、地球の公転軌道は完全な円ではないため、地球・太陽間の実際距離は毎日異なっているからである。

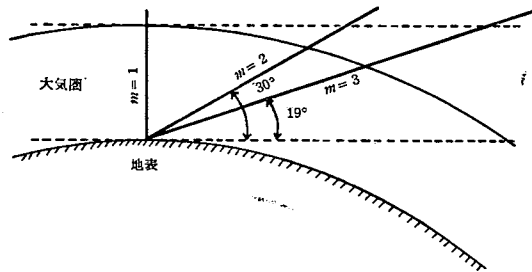
そこで著者らは太陽定数  $J_0$  の代わりに大気外日射量  $I_0$  を用いることとした。すなわち地球・太陽間の平均距離を  $R_{av}$ 、その実際距離を  $R$  とすると、Lambert の法則により大気外日射量  $I_0$  は次式で求められる。

$$I_0 = J_0 \left( \frac{R_{av}}{R} \right)^2 \quad (2)$$

また air mass  $m$  と太陽高度  $h$  との関係は

$$m = \operatorname{cosec} h = \frac{1}{\sin h} \quad (3)$$

上式は地表を平面として導かれたもので、第 1 図に示すように実際には地表が球面であるので太陽高度  $h$  の低いときには不正確になる。



第 1 図 太陽高度  $h$  と air mass  $m$  の関係

そこで著者らがベンポラードの値<sup>3)</sup>をもとに算出した補正值  $d$  を用いると、正確な air mass  $m'$  は次式であらわされる。

$$m' = \operatorname{cosec} h - d = \frac{1}{\sin h} - d \quad (4)$$

つぎに太陽高度  $h$  は緯度を  $\varphi$ 、日赤緯を  $\delta$ 、時角を  $t$  とすると次の球面三角式で求められる。\*\*\*

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t \quad (5)$$

そこで(1)式の太陽定数  $J_0$  の代りに(2)式の大気外日射量  $I_0$  を用い、(4)式の関係を入れれば法線面直達日射量  $I_d$  は

$$I_d = I_0 P^{m'} = I_0 P^{\operatorname{cosec} h - d} \quad (6)$$

\* 地球・太陽間の平均距離 (1 天文単位) における地球大気外の所で、太陽の方向に垂直な  $1 \text{ cm}^2$  の平面が 1 分間に受けるエネルギーの量を太陽定数 (Solar Constant) という。

\*\* これは気圧や大気中に含まれる水蒸気、炭酸ガス、オゾン、細塵などの量によって変わり、また場所や季節や天候によって変動するものである。

\*\*\* ただし、南中時における太陽高度  $h$  は  $\cos t = 1$  となるので

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta = \cos(\varphi - \delta) = \sin(90^\circ - \varphi + \delta)$$

$$\therefore h = 90^\circ - \varphi + \delta$$

上式に(5)式の入れると結局

$$I_d = I_o \left[ P_{\text{EXP}} \left\{ \frac{1}{\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t} - d \right\} \right] \quad (7)$$

または

$$\log I_d = \log I_o + \left\{ \frac{1}{\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t} - d \right\} \log P \quad (8)$$

## 2.2 水平面および傾斜面の直達日射量 $I$

水平面または傾斜面の直達日射量  $I$  は法線面の直達日射量を  $I_d$ 、法線面とのなす角を  $\theta$  とすると、Lambert の法則により一般に次式がなりたつ。

$$I = I_d \cos \theta \quad (9)$$

したがって、太陽高度  $h$  のときの水平面直達日射量  $I_i$  は、上式の  $\theta$  を  $\alpha$  にかえて (第2図参照)

$$I_i = I_d \cos \alpha = I_d \cos (90^\circ - h)$$

$$\therefore I_i = I_d \sin h \quad (10)$$

また南に傾斜した面の直達日射量  $I_j$  は水平面とのなす角を  $j$ 、(9)式の  $\theta$  を  $\beta$  にかえると (第3図参照)

$$I_j = I_d \cos \beta = I_d \cos \{ 90^\circ - (h + j) \}$$

$$\therefore I_j = I_d \sin (h + j) \quad (11)$$

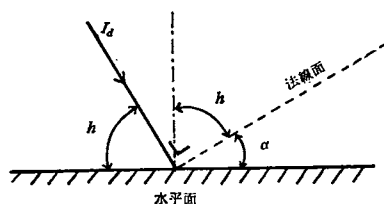
であらわされる。

## 3. 測定装置と測定法

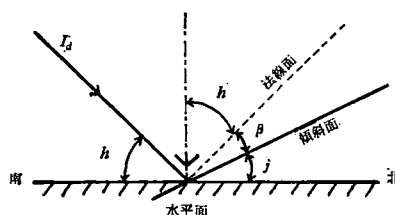
著者らは第4図(a), (b)に示すような Eppley 日射計と自記記録計とからなる装置を使用して日射量を測定した。すなわち本学部構内の終日影にならない所に台(地上からの高さ約1.2 m)をおき、その上に Eppley 日射計をおいて晴天または曇天の日の各時刻に対する水平面全天日射量  $I_{ii}$  について1964年6月より11月まで測定を行なった。

この Eppley 日射計は水平面全天日射量を測る目的のもので、受光部には熱伝導のよい金属が用いられ、白、黒二つの等面積の円板に生ずる温度差を高級熱電対(白金ロジウム—金パラジウム50組)で測定するため、この種の日射計では最も感度がよい。その感度は  $13 \text{ mV/cal} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{min}$  である。また受光部はガラス球で覆われ、球内に乾燥空気が充填されているので、風、結露、湿度などの影響がなく、経年変化も少ないように製作されている。

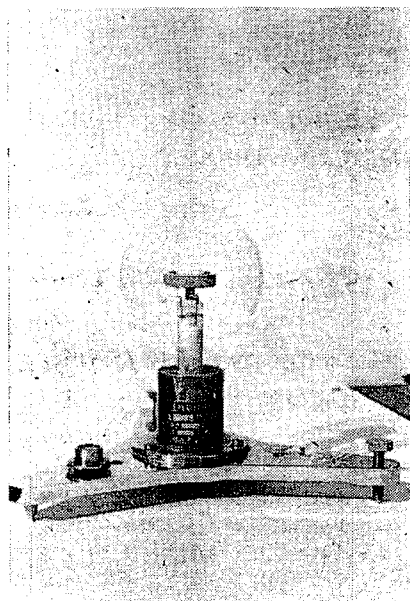
この日射計の起電力  $\text{mV}$  を自記紙に記録し、各時刻の



第2図 水平面の日射量



第3図 傾斜面の日射量



(a) Eppley 日射計

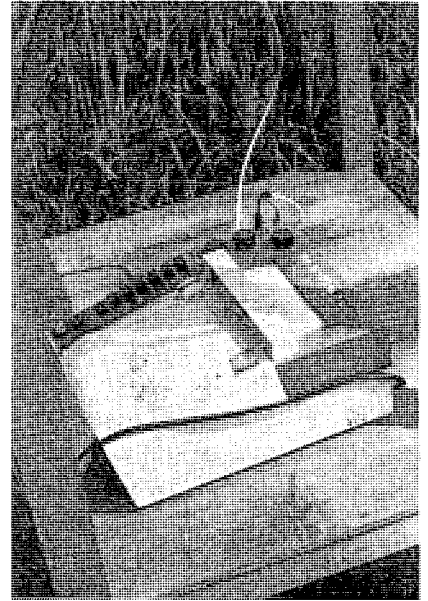
第4図 測定装置

値を換算表で  $\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$  に換算した。なお記録計の検定は標準の  $\text{mV}$  計で  $0.1 \text{ mV}$  まで補正した。

#### 4. 結果および考察

著者らは太陽定数  $J_0$  の値\*として  $1.98 \text{ cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$  を用いることにした。ただし、大気外日射量  $I_0$  は地球・太陽間の実際距離  $R$  の計算が複雑なので、ここでは太陽定数を  $1.940 \text{ cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$  として(2)式で計算された表の値<sup>10)</sup>に  $1.98/1.940$  を乗じて得られた第1表の値を用いた。

緯度  $\varphi$  は金沢の地点が北緯  $36^\circ 34'$ 、東経  $136^\circ 39'$  にあるので、 $\varphi = 36^\circ 34'$  とし、日赤緯  $\delta$  は理科年表<sup>8)</sup>に毎日の値が出ているので、それを用いた。時角  $t$  は南中時を  $0^\circ$  とし、1時間  $15^\circ$  の割合で任意の時刻に対する値を算出した。ただし、地方時と中央標準時との差、金沢の場合は経度で  $136^\circ 39' - 135^\circ = 1^\circ 39'$  の差、時間で6分36秒速いためその時間を補正した。



(b) 自記記録計  
第4図 測定装置

第1表 大気外日射量  $I_0$  [ $\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$ ] (太陽定数  $J_0$  を  $1.98 \text{ cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$  として算出した)

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2.048	2.039	2.017	1.983	1.950	1.925	1.916	1.922	1.944	1.976	2.011	2.036
2	2.048	2.039	2.016	1.981	1.949	1.925	1.916	1.923	1.945	1.977	2.012	2.037
3	2.048	2.038	2.015	1.980	1.948	1.924	1.916	1.923	1.946	1.978	2.013	2.038
4	2.048	2.037	2.014	1.979	1.947	1.924	1.916	1.924	1.947	1.979	2.014	2.038
5	2.048	2.037	2.013	1.978	1.946	1.923	1.916	1.924	1.948	1.980	2.015	2.039
6	2.048	2.036	2.012	1.977	1.945	1.923	1.916	1.925	1.949	1.981	2.016	2.039
7	2.047	2.035	2.011	1.976	1.944	1.922	1.916	1.925	1.950	1.982	2.017	2.040
8	2.047	2.035	2.010	1.975	1.943	1.922	1.916	1.926	1.950	1.984	2.018	2.041
9	2.047	2.034	2.009	1.974	1.942	1.921	1.916	1.926	1.951	1.985	2.019	2.041
10	2.047	2.034	2.008	1.972	1.941	1.921	1.916	1.927	1.952	1.986	2.020	2.042
11	2.047	2.033	2.006	1.971	1.940	1.920	1.916	1.928	1.953	1.987	2.021	2.042
12	2.047	2.032	2.005	1.970	1.940	1.920	1.916	1.928	1.954	1.988	2.021	2.043
13	2.047	2.031	2.003	1.969	1.939	1.920	1.916	1.929	1.955	1.989	2.022	2.043
14	2.046	2.030	2.002	1.968	1.938	1.919	1.916	1.930	1.958	1.990	2.023	2.043
15	2.046	2.030	2.001	1.967	1.937	1.919	1.917	1.930	1.959	1.991	2.024	2.044
16	2.046	2.029	2.000	1.966	1.936	1.919	1.917	1.931	1.960	1.993	2.025	2.044
17	2.046	2.028	1.999	1.965	1.936	1.918	1.917	1.932	1.961	1.994	2.026	2.045
18	2.045	2.027	1.998	1.964	1.935	1.918	1.917	1.933	1.962	1.995	2.027	2.045
19	2.045	2.026	1.997	1.963	1.934	1.918	1.918	1.933	1.963	1.996	2.028	2.045
20	2.045	2.025	1.996	1.962	1.933	1.918	1.918	1.934	1.964	1.997	2.028	2.046
21	2.044	2.024	1.995	1.961	1.933	1.917	1.918	1.935	1.965	1.998	2.029	2.046
22	2.044	2.024	1.994	1.960	1.932	1.917	1.918	1.936	1.966	1.999	2.030	2.046
23	2.044	2.023	1.993	1.959	1.931	1.917	1.919	1.936	1.967	2.000	2.031	2.046
24	2.043	2.022	1.991	1.958	1.930	1.917	1.919	1.937	1.968	2.001	2.032	2.046
25	2.043	2.021	1.990	1.956	1.930	1.916	1.919	1.938	1.969	2.002	2.032	2.047
26	2.042	2.020	1.989	1.955	1.929	1.916	1.920	1.939	1.970	2.003	2.033	2.047
27	2.042	2.019	1.988	1.954	1.928	1.916	1.920	1.940	1.971	2.004	2.034	2.047
28	2.041	2.018	1.987	1.953	1.928	1.916	1.920	1.940	1.972	2.006	2.034	2.047
29	2.041	2.017	1.986	1.952	1.927	1.916	1.921	1.941	1.973	2.008	2.035	2.047
30	2.040	—	1.985	1.951	1.927	1.916	1.921	1.942	1.975	2.009	2.036	2.047
31	2.040	—	1.984	—	1.926	—	1.922	1.943	—	2.010	—	2.047

\* 太陽定数の決定に当っては地上で観測できない部分の推定が含まれることなどにより、その値は測定者や年代により異なり  $1.933 \sim 2.002 \text{ cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$  である。しかし、国際地球観測年の申し合わせにより  $1.98 \text{ cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$  が採用されている。文献 1), 2), 3), 4), 5), 6)

air mass の補正值  $d$  はベンボラードの値<sup>3)</sup>をもとに著者らが太陽高度  $h$  対 ( $\operatorname{cosec} h$  - ベンボラードの値) の曲線より求めた第 2 表の値を用いた。

大気の透過率  $P$  は金沢地方における実測値がないので、金沢に近い輪島 (北緯  $37^{\circ}23'$ , 東経  $136^{\circ}54'$ ) における実測値表<sup>9)</sup> (表にないところは内挿または外挿した) と金沢における透過率  $P$  とが等しいと仮定して、その値を用いた。

以上のそれぞれの値を (8) 式に代入し法線面直達日射量  $I_d$  を求め、(10) 式より水平面直達日射量  $I_i$  を算出した。

各月より 1 日, 11 日, 21 日 (9 月は 23 日秋分, 12 月は 22 日冬至) の 3 日を選んで、各時刻に対する法線面直達日射量  $I_d$  と水平面直達日射量  $I_i$  について上の方法で算出した結果を第 3 表 (a) ~ (f) に示す。その代表的な曲線を第 5 図 ~ 第 12 図に示し、第 8 図 ~ 第 11 図には著者らが Eppley 日射計を使用し測定した水平面全天日射量  $I_{ti}$  の値を比較して示した。

一方、各日射量の 1 日積算量を求めた結果を第 4 表 (a) ~ (c) に、すなわち、計算値の法線面直達日射量と水平面直達日射量とを第 2, 3 欄に、実測値の水平面全天日射量を第 4 欄に示した。ただし、終日測定値のない水平面全天日射量は外挿して求めた。

第 2 表 太陽高度  $h$  と air mass  $m$  の補正值  $d$

高 度 $h[^\circ]$	補 正 値 $d[-]$	高 度 $h[^\circ]$	補 正 値 $d[-]$
90	0	29	0.006
89	0	28	0.007
88	0	27	0.008
87	0.001	26	0.009
86	0.001	25	0.010
		24	0.012
85	0.001	23	0.014
84	0.001	22	0.016
83	0.001	21	0.018
82	0.001	20	0.020
81	0.001		
80	0.001	19	0.034
		18	0.047
79	0.001	17	0.061
78	0.001	16	0.075
77	0.001	15	0.089
		14	0.103
76	0.001	13	0.117
75	0.002	12	0.131
74	0.002	11	0.145
73	0.002	10	0.159
72	0.002		
71	0.002	9	0.340
70	0.002	8	0.525
69	0.003	7	0.710
68	0.003	6	0.895
67	0.003	5	1.075
		4	1.255
66	0.003	3	1.445
65	0.003	2	1.625
64	0.003	1	1.810
63	0.004	0	1.990
62	0.004		
61	0.004		
60	0.004		
59	0.004		
58	0.004		
57	0.004		
56	0.005		
55	0.005		

第 3 表 法線面直達日射量  $I_d$  と水平面直達日射量  $I_i$  の値 [cal/cm<sup>2</sup>・min]  
(ただし、この表の時刻は地方時である)

(a) 1 月 と 2 月

月 日 時 刻	1 月 1 日		1 月 11 日		1 月 21 日		2 月 1 日		2 月 11 日		2 月 21 日	
	$I_d$	$I_i$	$I_d$	$I_i$	$I_d$	$I_i$	$I_d$	$I_i$	$I_d$	$I_i$	$I_d$	$I_i$
7 時 , 17 時	—	—	—	—	—	—	0.	0.	0.0041	0.0002	0.0579	0.0053
7 時 30 分, 16 時 30 分	0.0208	0.0010	0.0345	0.0021	0.0757	0.0063	0.1471	0.0169	0.2112	0.0316	0.3206	0.0604
8 時 , 16 時	0.3908	0.0530	0.3579	0.0535	0.3707	0.0636	0.4276	0.0875	0.4795	0.1155	0.5837	0.1639
9 時 , 15 時	0.8987	0.2595	0.8397	0.2549	0.8239	0.2701	0.8198	0.2979	0.8506	0.3464	0.9095	0.4038
10 時 , 14 時	1.132	0.4597	1.071	0.4520	1.045	0.4677	1.038	0.5035	1.033	0.5428	1.083	0.6166
11 時 , 13 時	1.239	0.5946	1.179	0.5853	1.151	0.6019	1.138	0.6392	1.126	0.6793	1.169	0.7576
12 時	1.270	0.6415	1.211	0.6319	1.182	0.6484	1.167	0.6860	1.155	0.7274	1.194	0.8060

## (b) 3月と4月

時刻	3月1日		3月11日		3月21日		4月1日		4月11日		4月21日	
	$I_d$	$I_i$	$I_d$	$I_i$	$I_d$	$I_i$	$I_d$	$I_i$	$I_d$	$I_i$	$I_d$	$I_i$
6時, 18時	—	—	—	—	—	—	0.0010	0.	0.0303	0.0026	0.0919	0.0112
6時30分, 17時30分	0.	0.	0.0133	0.0009	0.0940	0.0101	0.1838	0.0277	0.2614	0.0495	0.3339	0.0749
7時, 17時	0.1553	0.0197	0.2543	0.0428	0.3718	0.0783	0.4614	0.1170	0.5235	0.1524	0.5673	0.1845
8時, 16時	0.6667	0.2125	0.7525	0.2720	0.8149	0.3295	0.8529	0.3811	0.8764	0.4233	0.8898	0.4582
9時, 15時	0.9667	0.4674	1.021	0.5385	1.056	0.6027	1.071	0.6561	1.076	0.6968	1.075	0.7286
10時, 14時	1.125	0.6863	1.165	0.7627	1.186	0.8283	1.189	0.8797	1.187	0.9196	1.180	0.9472
11時, 13時	1.203	0.8296	1.248	0.9170	1.249	0.9725	1.250	1.025	1.244	1.062	1.234	1.088
12時	1.207	0.8651	1.257	0.9580	1.270	1.024	1.269	1.075	1.261	1.110	1.251	1.136

## (c) 5月と6月

時刻	5月1日		5月11日		5月21日		6月1日		6月11日		6月21日	
	$I_d$	$I_i$	$I_d$	$I_i$	$I_d$	$I_i$	$I_d$	$I_i$	$I_d$	$I_i$	$I_d$	$I_i$
5時30分, 18時30分	0.0142	0.0008	0.0169	0.0014	0.0442	0.0047	0.0188	0.0017	0.0539	0.0074	0.0597	0.0084
6時, 18時	0.1519	0.0234	0.1949	0.0356	0.2329	0.0478	0.2396	0.0535	0.2116	0.0494	0.2185	0.0518
7時, 17時	0.6095	0.2164	0.6294	0.2394	0.6374	0.2552	0.6132	0.2552	0.5573	0.2366	0.5605	0.2380
8時, 16時	0.9076	0.4921	0.9061	0.5118	0.8995	0.5237	0.8640	0.5147	0.8015	0.4832	0.8032	0.4863
9時, 15時	1.080	0.7590	1.070	0.7737	1.057	0.7805	1.018	0.7634	0.9559	0.7226	0.9563	0.7250
10時, 14時	1.179	0.9740	1.165	0.9840	1.150	0.9869	1.110	0.9637	1.050	0.9170	1.049	0.9181
11時, 13時	1.231	1.112	1.215	1.119	1.198	1.118	1.159	1.092	1.100	1.042	1.099	1.043
12時	1.247	1.160	1.231	1.166	1.214	1.164	1.175	1.137	1.116	1.085	1.115	1.086

## (d) 7月と8月

時刻	7月1日		7月11日		7月21日		8月1日		8月11日		8月21日	
	$I_d$	$I_i$	$I_d$	$I_i$	$I_d$	$I_i$	$I_d$	$I_i$	$I_d$	$I_i$	$I_d$	$I_i$
5時30分, 18時30分	0.0764	0.0105	0.0882	0.0112	0.0574	0.0063	0.0164	0.0014	0.0011	0.0001	0.	0.
6時, 18時	0.2609	0.0611	0.2955	0.0663	0.2578	0.0538	0.1831	0.0338	0.1202	0.0189	0.0680	0.0085
7時, 17時	0.6255	0.2659	0.6845	0.2848	0.6628	0.2674	0.6024	0.2303	0.5348	0.1915	0.4824	0.1587
8時, 16時	0.8686	0.5240	0.9315	0.5555	0.9196	0.5380	0.8760	0.4963	0.8272	0.4507	0.7954	0.4123
9時, 15時	1.019	0.7707	1.080	0.8105	1.073	0.7949	1.039	0.7529	1.002	0.7067	0.9824	0.6688
10時, 14時	1.109	0.9688	1.167	1.014	1.163	1.001	1.135	0.9602	1.104	0.9146	1.091	0.8789
11時, 13時	1.157	1.096	1.213	1.144	1.210	1.132	1.185	1.093	1.157	1.048	1.147	1.014
12時	1.172	1.140	1.228	1.189	1.225	1.177	1.200	1.138	1.174	1.094	1.165	1.061

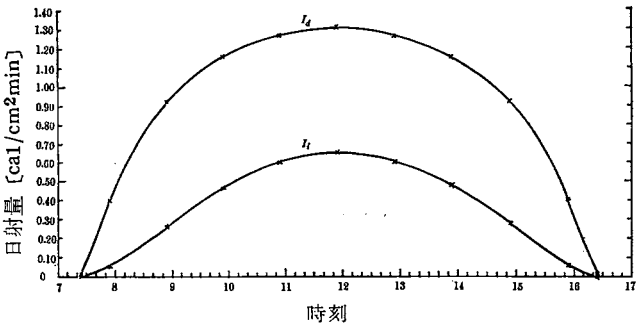
(e) 9 月 と 10 月

月 日 時 刻	9 月 1 日		9 月 11 日		9 月 23 日		10 月 1 日		10 月 11 日		10 月 21 日	
	$I_d$	$I_i$	$I_d$	$I_d$	$I_d$	$I_i$	$I_d$	$I_i$	$I_d$	$I_i$	$I_d$	$I_i$
6 時 , 18 時	0.0249	0.0022	0.0011	0.0001	0.	0.	—	—	—	—	—	—
6 時 30 分, 17 時 30 分	0.2322	0.0442	0.1778	0.0272	0.0818	0.0086	0.0223	0.0016	0.0949	0.0095	0.0178	0.0011
7 時 , 17 時	0.4808	0.1405	0.4457	0.1137	0.3463	0.0720	0.2731	0.0479	0.1945	0.0261	0.0995	0.0094
8 時 , 16 時	0.8251	0.3993	0.8289	0.3717	0.7847	0.3151	0.7551	0.2783	0.7194	0.2350	0.6742	0.1919
9 時 , 15 時	1.025	0.6646	1.044	0.6412	1.025	0.5821	1.016	0.5433	1.006	0.4947	0.9924	0.4448
10 時 , 14 時	1.137	0.8808	1.162	0.8615	1.154	0.8027	1.155	0.7647	1.156	0.7149	1.156	0.6631
11 時 , 13 時	1.195	1.021	1.223	1.005	1.220	0.9465	1.223	0.9078	1.229	0.8578	1.234	0.8052
12 時	1.213	1.069	1.241	1.053	1.240	0.9960	1.244	0.9579	1.251	0.9072	1.258	0.8547

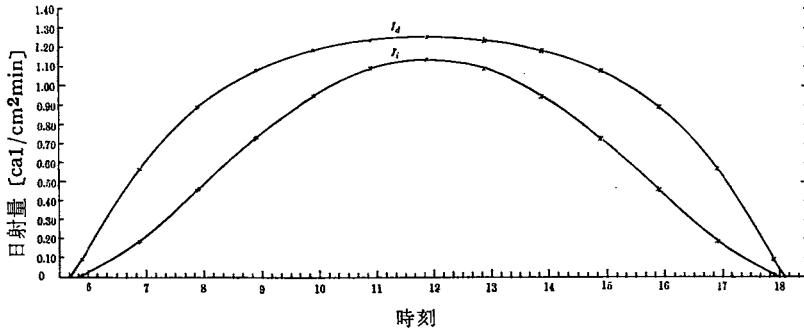
[注] 上の表の\*印は6時50分, 17時10分の値

(f) 11 月 と 12 月

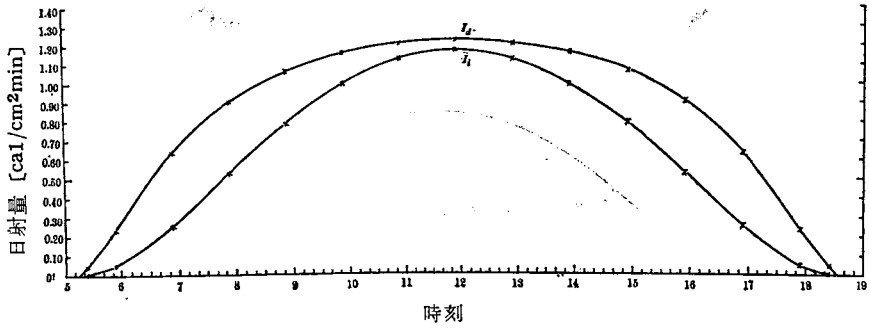
月 日 時 刻	11 月 1 日		11 月 11 日		11 月 21 日		12 月 1 日		12 月 11 日		12 月 22 日	
	$I_d$	$I_i$	$I_d$	$I_i$	$I_d$	$I_i$	$I_d$	$I_i$	$I_d$	$I_i$	$I_d$	$I_i$
7 時 , 17 時	0.0142	0.0008	0.	0.	0.	0.	—	—	—	—	—	—
7 時 30 分, 16 時 30 分	0.3260	0.0489	0.2537	0.0293	0.1499	0.0130	0.0703	0.0045	0.0337	0.0017	0.0174	0.0008
8 時 , 16 時	0.6291	0.1518	0.5864	0.1205	0.5107	0.0894	0.4670	0.0709	0.4510	0.0618	0.4034	0.0531
9 時 , 15 時	0.9874	0.3973	0.9911	0.3611	0.9669	0.3205	0.9535	0.2921	0.9596	0.2785	0.9256	0.2630
10 時 , 14 時	1.165	0.6128	1.182	0.5746	1.173	0.5296	1.172	0.4979	1.185	0.4831	1.158	0.4646
11 時 , 13 時	1.250	0.7548	1.272	0.7158	1.267	0.6676	1.271	0.6347	1.287	0.6198	1.264	0.6001
12 時	1.275	0.8036	1.297	0.7637	1.295	0.7157	1.300	0.6822	1.316	0.6669	1.311	0.6554



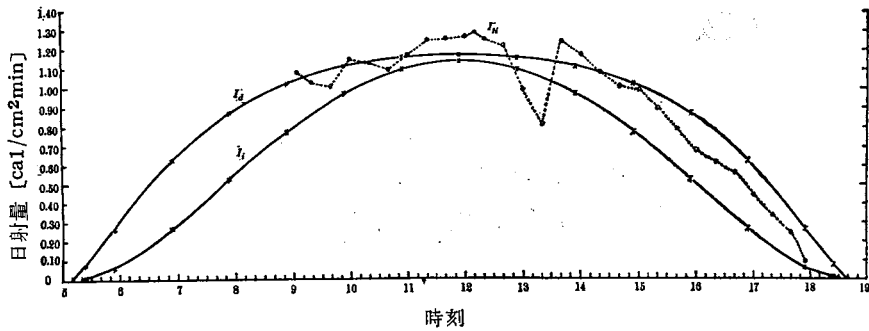
第 5 図 2 月 21 日の各時刻に対する日射量  $I_d$  と  $I_i$



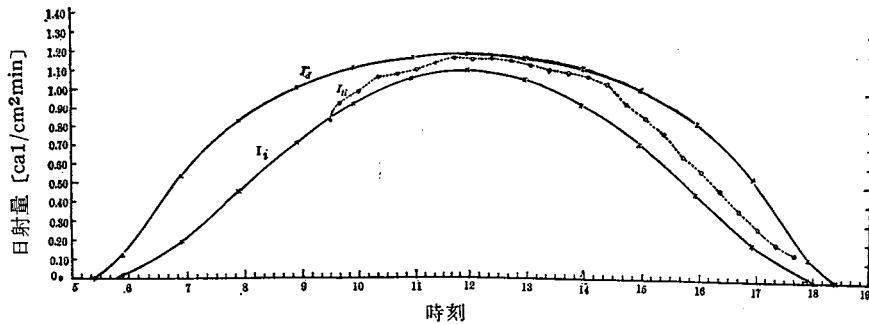
第6図 4月21日の各時刻に対する日射量  $I_d$  と  $I_i$



第7図 5月21日の各時刻に対する日射量  $I_d$  と  $I_i$

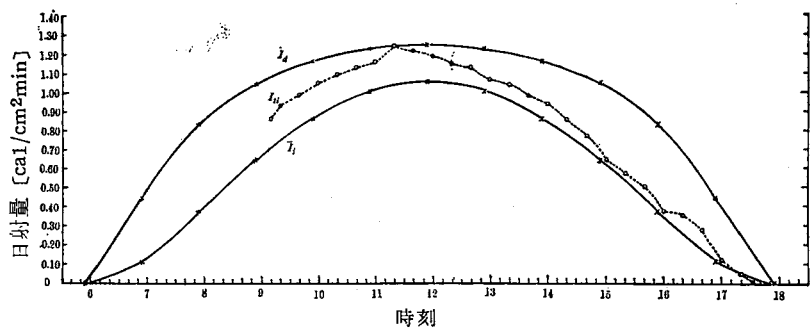


第8図 7月1日の各時刻に対する日射量  $I_d$  と  $I_i$  と  $I_{ti}$

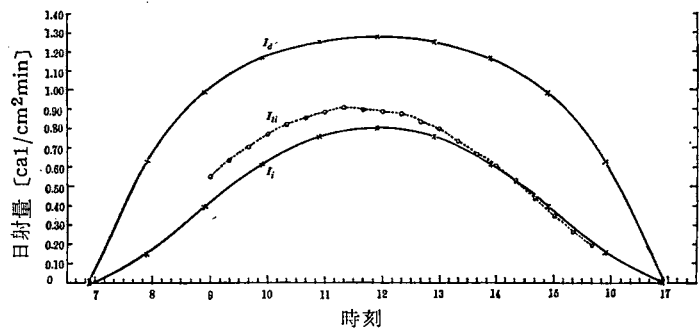


第9図 8月11日の各時刻に対する日射量  $I_d$  と  $I_i$  と  $I_{ti}$

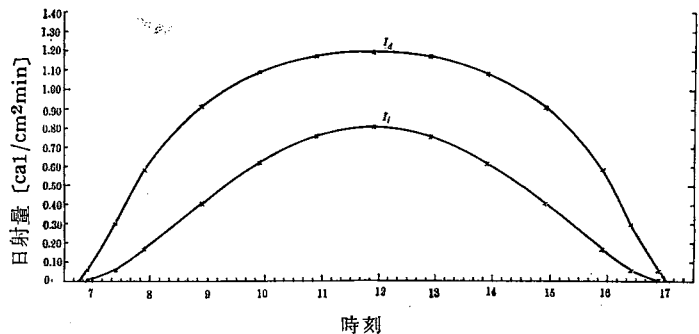




第10図 9月11日の各時刻に対する日射量  $I_d$  と  $I_i$  と  $I_{id}$



第11図 11月1日の各時刻に対する  $I_d$  と  $I_i$  と 10月31日の  $I_{id}$



第12図 12月22日の各時刻に対する日射量  $I_d$  と  $I_i$

第4表 日 積 算 日 射 量 [cal/cm²・day]

(a) 1 月 ~ 4 月 (ただし、雲量は日平均雲量で金沢地方気象台調べ)

月 日	1月 1日	1月 11日	1月 21日	2月 1日	2月 11日	2月 21日	3月 1日	3月 11日	3月 21日	4月 1日	4月 11日	4月 21日
法線面直達日射量	501	498	490	467	486	538	569	580	616	668	677	646
水平面直達日射量	200	205	216	218	251	287	370	351	397	433	460	456
(実 測 月 日)												
水平面全天日射量												
天 気 (雲 量)												

(b) 5 月～8 月

月 日	5月1日	5月11日	5月21日	6月1日	6月11日	6月21日	7月1日	7月11日	7月21日	8月1日	8月11日	8月21日
法線面直達日射量	663	667	672	598	594	620	647	679	692	656	616	590
水平面直達日射量	477	492	503	504	457	472	490	505	511	482	446	417
(実測月日)						(6月23日)	(7月1日)	(7月11日)	(7月22日)	(7月30日)	(8月11日)	(8月20日)
水平面全天日射量						695	627	618	584	435	495	486
天 気(雲量)						晴(5.5)	晴(5.0)	晴(5.5)	晴(4.8)	晴(5.0)	快晴(0.8)	晴(6.3)

(c) 9 月～12 月

月 日	9月1日	9月11日	9月23日	10月1日	10月11日	10月21日	11月1日	11月11日	11月21日	12月1日	12月11日	12月22日
法線面直達日射量	614	626	592	586	578	543	551	563	530	523	514	498
水平面直達日射量	421	410	368	352	332	290	271	255	228	212	201	194
(実測月日)	(9月3日)	(9月11日)	(9月26日)	(10月1日)	(10月12日)	(10月20日)	(10月31日)	(11月11日)	(11月20日)			
水平面全天日射量	489	496	472	436	254	311	309	293	269			
天 気(雲量)	晴(7.3)	晴(2.8)	晴(4.8)	快晴(1.3)	晴(6.8)	晴(7.0)	快晴(0.8)	晴(4.5)	快晴(0.5)			

第3表(a)～(f)および第5図～第12図をみると、法線面直達日射量  $I_d$  は冬期には大きく、夏期には小さいことがわかる。このことは冬期に地球が夏期より約  $2 \times 10^4$  km 太陽に近づくための影響である。

また、冬期に法線面直達日射量  $I_d$  が大きくても地表の物体が温度上昇をしないのは、気温が低いために受けとった熱が空気中に逃げるのと、太陽高度が低いために日射の強い時間が短かいからである。

法線面直達日射量  $I_d$  と水平面直達日射量  $I_i$  との差は、太陽高度の高い夏期には小さく、太陽高度の低い冬期には非常に大きくなる。このことは受熱面の角度の影響は夏期には小さく、冬期には大きいことを示す。したがって、太陽エネルギーを利用する場合冬期には受熱面の角度を特に注意しなければならない。

つぎに、第8図～第11図をみて水平面直達日射量  $I_i$  と水平面全天日射量  $I_{ti}$  とを比較すると、その差は  $0.01 \sim 0.63 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$  である。ここで水平面全天日射量  $I_{ti}$  というのは水平面における直達日射量  $I_i$  と天空輻射量との和であるから、上の差はほとんど天空輻射量に等しい。この天空輻射量は法線面直達日射量  $I_d$  の約 20 % であるので、これより推算しても水平面直達日射量  $I_i$  とその実測値との差は 5 % 以下と考えられる。なお、水平面直達日射量  $I_i$  と水平面全天日射量  $I_{ti}$  の曲線に時間的ずれが見られるのは、大気層による屈折の影響と思われる。

一方、積算量の表(第4表(a)～(c))をみると、法線面直達日射量  $I_d$  は  $500 \sim 690 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{day}$  で年中たいした変化がなく、充分利用できる値である。水平面全天日射量  $I_{ti}$  は冬期にはかなり小さくなるが、それでも  $200 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{day}$  以上であるから利用できないことはない。ゆえに金沢においては天気さえよければ年中利用するに充分な日射量が得られる。

また、この表より雲の影響がない場合、1日どれだけのエネルギーが得られるかを算出できる。たとえば、7月22日の場合、水平面におかれた $1\text{ m}^2$ の平面が1日に受ける日射量を計算すると、約 $5,800\text{ kcal/m}^2\cdot\text{day}$ になる。これは $100\text{ l}$ の水を $58^\circ\text{C}$ も上昇させる熱量に等しく、太陽の方向に角度を変えればその値はもっと大きくなる。

したがって、法線面ととなす角がわかればこれらの図表よりいかなる面の日射量でも求めることが可能である。

## 5. む す び

著者らは日射量の計算方法を提出し、その方法で金沢における日射量について法線面直達日射量と水平面直達日射量を求め表に比較して示した。また、その代表的な曲線を図に示し、Eppley 日射計を使用し著者らが測定した水平面全天日射量の値を比較して示した。一方、各日射量の1日積算量をも求めた。これらの結果から計算すると毎日快晴ならば金沢においては1年に法線面直達日射量は約 $2,150\text{ kcal/m}^2\cdot\text{year}$ 、水平面直達日射量は約 $1,330\text{ kcal/m}^2\cdot\text{year}$ であるが、実際には天気が悪く年平均日照率が42%であるから、法線面直達日射量は約 $900\text{ kcal/m}^2\cdot\text{year}$ 、水平面直達日射量は約 $560\text{ kcal/m}^2\cdot\text{year}$ となることを知った。

この研究は太陽エネルギー利用の基礎資料を得るために行なったものであるが、これらの図表は農学、建築工学、衛生工学等の分野にも利用できるものと思う。

## 使 用 記 号

$d$ : air mass $m$ の補正值 [—]	$m'$ : 補正された air mass [—]
$h$ : 太陽高度 $[\circ]$	$P$ : 大気の透過率 $<1$ [—]
$I$ : 水平面または傾斜面の直達日射量 $[\text{cal/cm}^2\cdot\text{min}]$	$R$ : 地球・太陽間実際距離 $[\text{km}]$
$I_d$ : 法線面直達日射量 $[\text{cal/cm}^2\cdot\text{min}]$	$R_{av}$ : 地球・太陽間平均距離 $(14,954 \times 10^4\text{ km})$ $[\text{km}]$
$I_i$ : 水平面直達日射量 $[\text{cal/cm}^2\cdot\text{min}]$	$t$ : 時角 (子午線と太陽・天球両極を通る円となす角) $[\circ]$
$I_j$ : 南に傾斜した面の直達日射量 $[\text{cal/cm}^2\cdot\text{min}]$	$\alpha$ : 水平面が法線面となす角 $[\circ]$
$I_o$ : 大気外日射量 $[\text{cal/cm}^2\cdot\text{min}]$	$\beta$ : 南に傾斜した面が法線面となす角 $[\circ]$
$I_{ii}$ : 水平面全天日射量 $[\text{cal/cm}^2\cdot\text{min}]$	$\delta$ : 日赤緯 (太陽軌道と天球赤道となす角距離) $[\circ]$
$J_o$ : 太陽定数 $[\text{cal/cm}^2\cdot\text{min}]$	$\theta$ : 水平面または傾斜面が法線面となす角 $[\circ]$
$j$ : 南に傾斜した面が水平面となす角 $[\circ]$	$\varphi$ : 緯度 (その地点の垂直線と地球赤道面となす角距離) $[\circ]$
$m$ : air mass (大気路程) (太陽高度 $h$ が $90^\circ$ のときを1とし、これに対する比) [—]	

## 文 献

- 1) Abbot C. G. : Smithson. I. Ann., vol. 7 (1954)
- 2) Johnson F. S. : J. of Met., vol. 11 (1954)
- 3) 押田勇雄: 太陽エネルギー p.32 (日刊工業新聞社, 1958)
- 4) 押田勇雄: 同 上 p. 36
- 5) 関原 強: 技術 第26号, p. 5 (1960)
- 6) 関原 強: 太陽エネルギー vol. 1, No. 1, p. 64 (1962)
- 7) 内田秀雄: 衛生工業協会誌 vol. 31, No. 5, p. 235 (1957)
- 8) 東京天台編: 理科年報 p. 暦 8 (丸善, 1964)
- 9) 同 上 p. 気 77
- 10) 気象学ハンドブック p. 1213 (技報堂, 1959)

(昭和39年11月30日受付)